



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
CURSO DE AGRONOMIA

INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ VERMELHO NA
ELABORAÇÃO DE ARGAMASSA PARA O REPARO DE CANAIS

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JÚNIOR

AREIA – PB
NOVEMBRO – 2016

**INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ VERMELHO NA
ELABORAÇÃO DE ARGAMASSA PARA O REPARO DE CANAIS**

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JÚNIOR

Trabalho apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Areia PB, em observância às exigências para obtenção do título de engenheiro agrônomo.

ORIENTADORA:

Prof^a. Dr^a. Fernanda Fernandes de Melo

**AREIA - PB
NOVEMBRO – 2016**

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

B821i Brandão Júnior, José Ronaldo.

Incorporação de cinza de casca de arroz vermelho na elaboração de argamassa para o reparo de canais / José Ronaldo Brandão Júnior. - Areia: UFPB/CCA, 2017.

XI, 35 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

Bibliografia.

Orientador (a): Profa. Dra. Fernanda Fernandes de Melo.

1. Culturas agrícolas – Arroz. 2. Arroz Vermelho. 3. Produção de argamassa. I. Melo, Fernanda Fernandes de
(Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

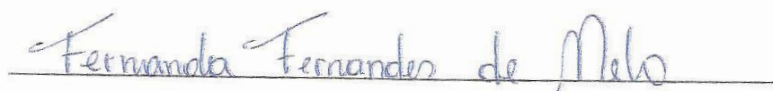
CDU: 633.18-033.2

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JÚNIOR

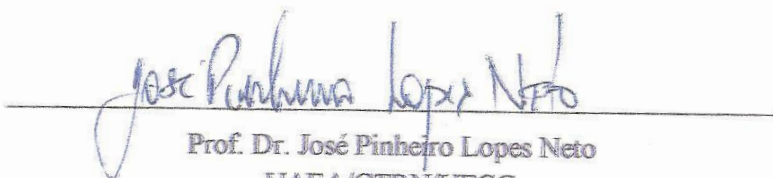
INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ VERMELHO NA
ELABORAÇÃO DE ARGAMASSA PARA O REPARO DE CANAIS

Aprovado em 01/02/2017

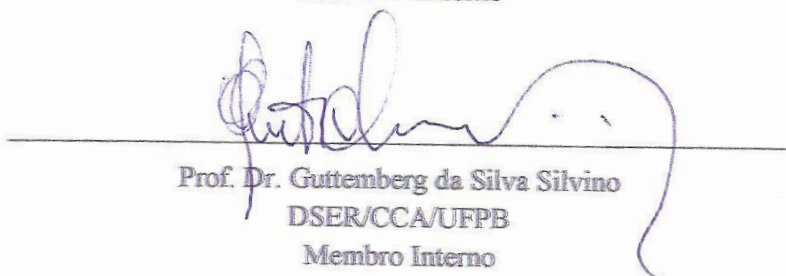
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Fernanda Fernandes de Melo
DSER/CCA/UFPB
- Orientadora -



Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto
UAEA/CTRN/UFCG
Membro Externo



Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino
DSER/CCA/UFPB
Membro Interno

Aos meus amados e honrados pais José Ronaldo Brandão (In memoriam) e Edailza Medeiros da Silva Brandão os quais eu tenho o orgulho de ser filho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me abençoar e guiar em todos os momentos da minha vida, me dando força, paz e discernimento.

A minha família por todo apoio e amor dados durante esses anos de estudo, em especial a meus pais José Ronaldo Brandão (*in memoriam*) e Edailza Medeiros da Silva Brandão, que sempre me mostraram o caminho certo a seguir. Amo vocês

A meu tio Edailton Medeiros e sua esposa Varni Medeiros, por todo apoio, e incentivo ao estudo. Muito obrigado.

A minha noiva Kaliana Borges, por todo amor, carinho, compreensão e incentivo. Sem você não imagino como seria chegar ao fim dessa fase na minha vida. Muito obrigado meu amor.

A professora e orientadora Fernanda Fernandes de Melo, por todo apoio e confiança dedicados a este trabalho. Muito obrigado.

Aos meus irmãos Ramon, Gabriel e Cecilia. Muito obrigado pelo apoio.

A toda família Borges, em especial a meus sogros Adalberto e Dalva, pelo apoio e amizade principalmente na fase final de minha formação. Muito obrigado.

A todos da turma 2011.1 de Agronomia, pela amizade e companheirismo ao longo desses anos, turma histórica. Muito obrigado.

A meus amigos e companheiros de laboratório, Helen e Matheus. Muito obrigado por toda ajuda.

A todos os professores e técnicos do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, em especial aos professores do Departamento de Solos e Engenharia Rural. Muito Obrigado.

Aos professores e técnicos do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da UFCG. Muito Obrigado.

Meu muitíssimo obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE EQUAÇÕES	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Geral.....	2
2.2 Específicos	2
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	3
3.1 O Arroz e a Problemática dos Resíduos	3
3.2 Aplicabilidade da Cinza da Casca de Arroz na Construção Civil	4
3.3 Patologias dos Revestimentos.....	6
3.4 Características das Argamassas de Reparo para Revestimentos.....	7
3.5 A Incorporação das Cinzas da Casca de Arroz em Argamassas de Reparo	8
4. METODOLOGIA	9
4.1 Localização do experimento	9
4.2 Preparação e caracterização da cinza da casca de arroz vermelho	10
4.2.1 Obtenção da cinza da casca de arroz vermelho	10
4.2.2 Caracterização da cinza da casca de arroz vermelho	11
4.2.3 Preparação e caracterização das argamassas	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5.1 Caracterização da cinza da casca de arroz vermelho	14
5.2 Caracterização das argamassas	20
5.3 Comportamento das argamassas no reparo de fissuras em canal de irrigação..	23
6. CONCLUSÕES	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Tratamentos adotados para calcinação das cascas de arroz	10
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Rendimento das cinzas da casca de arroz vermelho.....	17
--	----

TABELA 2. Resultados dos ensaios de compressão axial e diametral dos corpos de prova cilíndricos sem adição de CCA e com adição de 10% de cimento Portland CPII – F32.....	21
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. Índice de desempenho pozolânico aos 28 dias	11
---	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Área de localização do experimento.....	10
FIGURA 2. Corpos-de-prova para ensaios de resistência mecânica	13
FIGURA 3. Prensa hidráulica utilizada nos ensaios de resistência mecânica.....	13
FIGURA 4. Curvas termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA) da casca de arroz vermelho	14
FIGURA 5. Coloração das cinzas de casca de arroz vermelho obtidas para os tratamentos propostos, sendo: temperaturas 1 à 500°C, 2 à 600°C e 3 à 700°C, e tempos de queima A por 2h, B por 4h e C por 6h.....	16
FIGURA 6. Difratométrias das cinzas da casca do arroz vermelho, sendo as temperaturas 1 à 500°C, 2 à 600°C e 3 à 700°C e os períodos de calcinação A por 2h, B por 4h e C por 6h.....	18
FIGURA 7. Desempenho mecânico dos corpos-de-prova com misturas de cimento Portland (CP) cinzas de casca de arroz vermelho (2B - calcinadas a 600°C por 4h e 3A - calcinadas a 700°C por 2h).....	20
FIGURA 8. Argamassa testemunha A – B e com mistura de cimento Portland (CPII – F32) e cinzas de casca de arroz vermelho (2B - calcinadas a 600°C por 4h) C – D.....	21
FIGURA 9. Corpos de prova cilíndricos, testemunha A – B e com mistura de cimento Portland (CPII – F32) e cinzas de casca de arroz vermelho (2B - calcinadas a 600°C por 4h) C – D.....	21
FIGURA 10. Corpos de prova cilíndricos com substituição de 10% de CCA após rompimento.....	22

FIGURA 11. Argamassas no sentido vertical, 1° dia. A – Argamassa adicionada de CCA, B – Argamassa testemunha.....	23
FIGURA 12. Argamassas no sentido horizontal, 1° dia. A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCA.....	24
FIGURA 13. Argamassas no sentido vertical, 7° dia, A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCA.....	25
FIGURA 14. Microfissuras nas argamassas sentido horizontal, 7° dia, A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCA.....	25
FIGURA 15. Argamassas no sentido vertical microfissuradas, 14° dia após serem lixadas. A – Argamassa adicionada de CCA, B – Argamassa testemunha.....	26
FIGURA 16. Argamassas no sentido horizontal microfissuradas, 14° dia após serem lixadas. A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCA.....	27

BRANDÃO JÚNIOR, José Ronaldo. **Incorporação de Cinza de Casca de Arroz Vermelho na Elaboração de Argamassa para o Reparo de Canais**. 2016. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

RESUMO

O arroz vermelho na Paraíba embora produzido em menor escala que o arroz branco produz de mesma forma um alto teor de casca, muitas vezes não aproveitado. A cinza oriunda da queima da casca do arroz, é um material pozolânico que por ser rico em sílica (SiO_2) tem características para aplicabilidade na confecção de argamassas. Objetivou-se avaliar o desempenho de argamassas adicionadas de cinza de casca de arroz vermelho no reparo de fissuras em canais de alvenaria. A cinza da casca de arroz vermelho (CCAV) é oriunda de beneficiadora de arroz vermelho na cidade de Pedra Branca – PB. A casca passou por três tratamentos de queima com as temperaturas de 500°C – 600°C – 700°C e período de tempo de queima de 2 – 4 – 6 horas respectivamente, foram determinados parâmetros como rendimento de cinza, índice de atividade pozolânica, análise termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA). As cinzas depois de caracterizadas foram adicionadas em 10% de substituição parcial ao cimento Portland CII – F32 na confecção de corpos de prova cilíndricos medindo 5cm de diâmetro e 10cm de altura para avaliação de resistência a compressão simples, resistência a compressão diametral e esforços de tração em comparação a corpos de prova sem adição de CCAV. O melhor desempenho foi o da cinza com queima a 600°C – 4h, sendo está utilizada na confecção de argamassa para adição as fissuras no canal, onde foram analisados o comportamento em comparação a argamassa sem adição através de fotografia e medição aos 1º, 7º e 14º dias. A argamassa com adição de CCAV apresentou desempenho superior de resistência mecânica, menor tendência a formação de microfissuras e poros, bem como maior aderência e superfície de acabamento em relação à testemunha.

Palavras chave: material pozolânico, queima, reparo, fissuras, cimento Portland CII-F32

BRANDÃO JÚNIOR, José Ronaldo. **Incorporation of Red Rice Peel Ash in Elaboration of Mortar for the Repair of Channels**. 2016. 46 f. TCC (Undergraduate) - Agronomy Course, Department of Soils and Rural Engineering, Federal University of Paraíba, Areia, 2016.

SUMMARY

Red rice in Paraíba although produced on a smaller scale than white rice produces similarly a high content of peel, often not harvested. The ash from the burning of the rice husk is a pozzolanic material that, because it is rich in silica (SiO_2), has characteristics for applicability in the manufacture of mortars. The objective of this study was to evaluate the performance of red-husk ash mortars in the repair of cracks in masonry channels. The ash of the red rice hull (CCAV) comes from the red rice mill in the city of Pedra Branca - PB. The bark underwent three firing treatments with temperatures of 500°C - 600°C - 700°C and period of burning time of 2 - 4 - 6 hours respectively, parameters were determined as gray yield, pozzolanic activity index, Thermogravimetric (TGA) and differential thermal analysis (DTA). The ashes after characterization were added in 10% partial replacement to Portland cement CII - F32 in the manufacture of cylindrical specimens measuring 5cm in diameter and 10cm in height for evaluation resistance to simple compression, resistance to diametral compression And tensile stresses compared to test bodies without addition of CCAV. The best performance was that of the ash with burning at 600°C - 4h, being used in the preparation of mortar to add the cracks in the channel, where the behavior was analyzed in comparison to the mortar without addition by means of photography and measurement at 1^o, 7th and 14th days. The mortar with addition of CCAV presented superior performance of mechanical resistance, less tendency to the formation of microcracks and pores, as well as greater adhesion and finishing surface in relation to the control.

Keywords: pozzolanic material, burning, repair, fissures, cement Portland CII-F32

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo grão mais produzido do mundo, com produção estimada no ano de 2015 de cerca de 740,2 milhões de toneladas segundo a FAO (2014) (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação). Ao ser processado estima-se que cerca de 23% do peso total do arroz seja proveniente da casca, parte dessa casca é reaproveitada na indústria em processos como a parboilização e fornecimento de energia através de sua queima. (PEREIRA, 2004)

O arroz vermelho foi o primeiro tipo introduzido pelos portugueses, no século XVI, e, ainda que, sendo cultivado em pequenas áreas, é considerado um verdadeiro patrimônio genético, cultural e alimentar para uma parcela da população nordestina, especialmente da Paraíba e do Rio Grande do Norte. O estado da Paraíba é o maior produtor de arroz vermelho do Brasil, também conhecido como “arroz da terra”, sendo sua produção concentrada nas regiões do Vale do Piancó e Vale do Rio do Peixe (PEREIRA, 2004). O arroz é chamado de vermelho devido ao acúmulo de taninos ou antocianinas na região do pericarpo (a camada superficial do grão situada logo abaixo da casca), a qual pode variar na tonalidade.

O arroz vermelho, ou arroz da terra, é uma forma espontânea de (*Oryza sativa* L.) que apresenta porte alto, folhas verde-claras, decumbentes e pilosas, colmos finos, alta capacidade de perfilhamento e sementes com pericarpo avermelhado, aristas longas, alta taxa de dormência e debulha natural (FONSECA et. al. 2007).

Um dos principais problemas na produção do arroz está centrado na quantidade de resíduo gerado nessa atividade. Segundo Della et. al. (2005), para cada tonelada de arroz em casca produzido 23% correspondem a casca e 4% correspondem a cinzas. De acordo com Zucco (2007) e Rodrigues (2008), a casca de arroz apresenta uma lenta decomposição na natureza, estimada em cinco anos, e ocorre o mesmo com a cinza que é resultante de sua queima, e ainda, quando depositada de forma inadequada e acumulada pode gerar uma decomposição anaeróbica que produzirá gases poluentes como o metano e o óxido nitroso, danosos à camada de ozônio. As cinzas minerais oriundas de diferentes atividades agroindustriais destacam-se entre os resíduos, que apresentam altas porcentagens de sílica e de outros óxidos, podendo ser então utilizadas como pozolanas (PAULA et al., 2009).

A sílica resultante da queima das cascas de arroz pode ser utilizada como material componente do concreto seja por substituição parcial ou adição ao cimento (TIBONI, 2007).

Dessa forma, a cinza mostra-se como alternativa de matéria-prima contribuinte para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte incorreto da casca de arroz, bem como, alternativa para reduzir o consumo de reservas naturais não renováveis pela indústria do cimento.

Os avanços nas pesquisas sobre materiais para construção civil têm mostrado a aplicabilidade de novos materiais em substituição parcial ao cimento Portland nos diversos setores da construção visando futuramente obter a redução do uso do cimento Portland. As cinzas podem ser aplicadas como material pozzolânico em substituição ao cimento Portland, quando estruturalmente amorfas e reativas, e carga mineral em substituição ao agregado miúdo, quando estruturalmente cristalinas e inertes, para a elaboração de argamassa e concreto.

A utilização da Cinza de Casca de Arroz (CCA) em concretos deve passar por diversos testes normatizados, principalmente no que tange à resistência mecânica, certificando que vem a atender valores iguais ou superiores aos materiais já existentes no mercado (BEZERRA, 2010). Segundo Zucco (2007), a explicação para as melhorias conferidas pela utilização das cinzas está nas reações da cal liberada pelo cimento Portland, que quando da hidratação do clínquer fixa a cal liberada, através da formação de monossilicatos cálcicos de composição semelhante aos da hidratação dos cristais de clínquer, conferindo às argamassas características como maior resistência, menor calor de hidratação, maior resistência ao ataque ácido, inibição da expansão devido à reação álcali-agregado, maior impermeabilidade, maior módulo de elasticidade, melhor comportamento em cura térmica e menor basicidade total, como reflexo do consumo do hidróxido de cálcio.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar o desempenho de argamassa produzida com substituição percentual do cimento Portland por cinza de casca de arroz vermelho no reparo de canais de irrigação.

2.2 Específicos

- Caracterizar as cinzas da casca de arroz vermelho obtidas em diferentes temperaturas e períodos de calcinação através de suas propriedades físicas e mineralógicas.

- Caracterização da argamassa
- Verificar o comportamento da argamassa produzida, quanto a instabilidade volumétrica e formação de fissuras, quando aplicadas no reparo de canais.
- Determinar o rendimento da CCAV

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 O Arroz e a Problemática dos Resíduos

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), levantados durante a safra 2014/2015, o Brasil produziu cerca de 12,4 milhões de toneladas de arroz, os estados de Rio Grande do Sul com 8,6 mil toneladas, o que representa 68,8 % da produção nacional, Santa Catarina com 1,1 mil toneladas produzidas em 147,9 mil hectares e Tocantins com 0,6 mil toneladas produzidas em 127,5 mil hectares, que juntamente com o Maranhão e o Mato Grosso representam 85% da produção nacional do grão.

No Nordeste, mas especificamente no Vale do Piancó no Estado da Paraíba, o cultivo do arroz vermelho é o mais explorado, segundo dados da CONAB (2015) o arroz vermelho representa 95% de todo arroz plantado no Estado, aproximadamente 7000 hectares de terras produzindo mais de 1500 quilogramas de grãos por hectare em sistema de sequeiro. De acordo com Borges et. al. (2012) o nível tecnológico adotado por quase todos os produtores do Vale do Piancó é artesanal, basicamente se resumindo ao uso insuficiente de insumos e etapas de pós-colheita do arroz vermelho mal conduzidas, de maneira que acontecem perdas elevadas de grãos, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos.

A grande disponibilidade da casca de arroz ao longo do ano e em quase todos os estados do Brasil contribui para destacar este resíduo como um dos mais promissores em termos de utilização. A composição química média da casca de arroz corresponde a aproximadamente, 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica. A celulose e a lignina quando removidas de forma controlada, deixam para trás a sílica numa forma vítrea e microporosa, de altíssima superfície específica (ZUCCO et.al., 2007).

A casca de arroz é um dos mais abundantes resíduos agrícolas, estima-se que para cada hectare de cultura de arroz, são produzidos de 4,0 a 6,0 mega gramas (Mg) de resíduos (CORTEZ et al, 2008). Em geral a casca é armazenada a céu aberto ate ser reutilizada pela

indústria na geração de energia, o que acarreta no aparecimento de outro resíduo que é a cinza da casca de arroz (CCA).

Subproduto da indústria do beneficiamento de arroz, a cinza tende a ser estocada nos pátios das empresas. Para Zucco et. al. (2007), a cinza promove a poluição do solo por apresentar carbono residual e concentração de óxidos alcalinizantes.

Segundo Saidelles et. al. (2012), em um mapeamento de uma beneficiadora de arroz na cidade de São Sepé no estado do Rio Grande do Sul, com área plantada de aproximadamente 20 mil hectares, constatou-se que cerca de 800 toneladas de casca são produzidas diariamente durante o processo de beneficiamento do grão e aproximadamente 54 m³ de cinza são gerados por dia após o aproveitamento da casca na geração de energia através da queima.

Com o arroz vermelho não é diferente, os resíduos mais especificamente a casca são pouco aproveitados pelos agricultores o que faz com que boa parte dos resíduos sejam deixados ao ar livre causando poluição das áreas próximas.

3.2 Aplicabilidade da Cinza da Casca de Arroz na Construção Civil

A cinza da casca de arroz (CCA) é um subproduto rico em sílica (teores superiores a 90%) (DELLA et.al., 2001). O uso da cinza como fonte de sílica no cimento diminui a resistência à compressão, aumenta a durabilidade do concreto e reduz a porosidade, o que é extremamente importante em muitas aplicações, tais como canais de irrigação, concretos resistentes à poluição e às intempéries, pisos resistentes à abrasão, etc. (FOLETTTO et.al., 2005). Freire (1997) descreve a cinza da casca de arroz como partícula esférica e de alta porosidade interna, com superfície específica variando entre 50 m²/g a 100 m²/g, valendo salientar que tal característica é dependente do processo de calcinação.

Segundo Zucco (2007), a literatura sobre cinza de casca de arroz indica que o processo de combustão da casca de arroz é o processo chave para obter a atividade pozzolânica da cinza resultante, pois a calcinação em temperatura adequada produz cinza com alto teor de sílica amorfa, tal característica é considerada como a responsável pela atividade pozzolânica. Della et al. citados por ZUCCO et al., (2007), afirmaram que a presença de sílica amorfa (reativa) ou cristalina (praticamente inerte) está diretamente ligada à temperatura e ao método de obtenção da cinza.

A CCA quando produzida a partir de queima controlada, com temperatura inferior a 600° C possui na sua morfologia a presença de sílica no estado amorfo, obtendo desta forma maior reatividade com o cimento e com a cal. Quando queimada a temperaturas muito elevadas, observa-se o surgimento de fases cristalinas na estrutura morfológica, diminuindo desta forma a reatividade com outros componentes, sendo desta forma inviável para utilização em concretos e argamassas (TASHIMA et. al., 2004). Segundo Silva (2006), o surgimento de formas estruturais diferenciadas, que ocorre com a variação de temperatura de obtenção do material, influencia na capacidade de combinação com o cimento, evidenciando assim as diferenças entre as condições de queima. As diferenças são evidenciadas quando se analisa a morfologia das cinzas obtidas sob diferentes condições de queima. O surgimento de formas estruturais diferenciadas, que ocorre com a variação de temperatura de obtenção do material, irá influenciar na sua capacidade em se combinar com os produtos de hidratação do cimento. (DUARTE, 2008)

As cinzas também são denominadas de adições minerais, por apresentarem propriedades cimentantes (ou pozolânicas) que são adicionados ao concreto em quantidades variáveis em relação à massa de cimento. Podem ser empregadas de duas formas: como substituição parcial do cimento ou como adição em teores variáveis em relação à massa ou volume do cimento. (SILVEIRA, 1996).

A NBR 12653 (1992), define materiais pozolânicos como materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e em presença de água, são capazes de reagir com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente formando compostos com propriedades aglomerantes. Tal reação é descrita como reação pozolânica.

As pozolanas atuam no concreto de forma física e química: quimicamente por meio de reação pozolânica, e fisicamente pelo efeito fíler, onde as partículas da adição mineral, por serem menores, se introduzem entre os grãos de cimento, preenchendo os vazios, diminuindo assim o diâmetro dos poros da pasta (WEBER, 2001). Segundo Bezerra (2010), as pozolanas são substâncias constituídas de sílica e alumina que, em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio e com diferentes componentes do cimento formando compostos estáveis a água e com propriedades aglomerantes.

Na cinza amorfa, com características pozolânicas, fatores como temperatura de queima, taxa de aquecimento, tempo de residência e ambiente de queima (disponibilidade de oxigênio), são responsáveis pela reatividade da cinza, pois influenciam na forma estrutural da

sílica, na superfície específica das partículas e no teor de carbono remanescente (CORDEIRO et. al., 2009).

O cimento Portland comum, em determinados aspectos, apresenta deficiências ou insuficiências para atender necessidades específicas da indústria da construção civil, especialmente sob aspectos de durabilidade. O uso das pozolanas pode suprir estas necessidades levando a certas vantagens, sendo os cimentos com adições pozolânicas recomendados por seu uso específico (SANTOS, 2006).

Sensale & Dal Molin (2001), relataram que o quesito durabilidade, avaliado pelos ensaios de absorção capilar e permeabilidade, mostrou que a cinza da casca de arroz contribui para a queda da permeabilidade e da capilaridade em relação ao traço controle.

3.3 Patologias dos Revestimentos

As principais patologias dos revestimentos em argamassa são as irregularidades geométricas, fissuras, deslocamentos, desagregação, esborcinamentos e a proliferação de fungos. As fissuras são o tipo mais comum de patologia em revestimentos de argamassa, a fissura origina-se através da tensão nos materiais. Quando a solicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tem a tendência de aliviar suas tensões. Quanto maior for a restrição imposta ao movimento dos materiais, e quanto mais frágil ele for, maiores serão a magnitude e a intensidade da fissuração (CORSINI, 2010). Segundo a NBR 8802, a fissura é a ruptura ocorrida no material sob ações mecânicas ou físico-químicas com até 0,5 mm de abertura e a trinca é a ruptura ocorrida acima de 0,5mm.

A fissuração é um problema patológico que interessa a vários ramos da engenharia, entre outros motivos, por estar diretamente relacionada à resistência dos materiais. (LORDSLEEM JÚNIOR, 2007). As fissuras em alvenarias podem pronunciar-se de diferentes formas. Sendo ortogonais à direção dos esforços de tração atuantes, manifestam-se em paredes de alvenaria sob forma de fissuras de direção predominantemente vertical, horizontal ou inclinada (ELDRIDGE, 1982).

De acordo com Lordsleem Júnior (1997), os problemas relativos às fissuras em argamassas de revestimento estão ligados à retração da massa, principalmente pela perda de umidade nas primeiras idades, o que desencadeia movimentos de retração, os quais acabam gerando tensões internas de tração e, conseqüentemente, a fissuração do revestimento. E ainda, que a retração também pode ocorrer em função das reações de hidratação e

carbonatação dos aglomerantes. A manifestação de fissuras pode acontecer tanto na fase plástica quanto na fase endurecida e, podem ainda, se propagar ao longo do tempo por efeito das movimentações térmicas e higroscópicas do revestimento causadas pelas variações nas condições ambientais.

Segundo Medeiros & Sabbatini (1994), é a perda de umidade nas primeiras idades que desencadeia movimentos de retração, os quais acabam gerando tensões internas de tração e, consequentemente, a fissuração do revestimento. De acordo com Sabbatini (1984), essa retração também ocorre em função das reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. Esse tipo de patologia é a mais comumente encontrada não só em canais revestidos mas também em quase toda obra em concreto. Suas causas são as mais variadas e vão desde problemas no solo da fundação, até a execução errônea de juntas e revestimento. (LUNA, 2013)

Segundo Morgado (2008), as fissuras podem ser causadas por subpressões, isto é, pela pressão exercida pela água por trás do revestimento quando aplicados nos taludes e fundo de canais em regiões onde o nível freático intercepta a seção transversal do canal. De acordo com Luna (2013), quando em posição vertical as fissuras são normalmente causadas por má execução de juntas de dilatação entre os painéis impedindo o perfeito movimento de expansão e contração do concreto. Segundo DNIT (2010. apud LUNA, 2013), o tratamento das fissuras lineares (transversais, longitudinais ou diagonais), de abertura igual ou inferior que 1,0 mm e não esborcinadas, deve consistir na sua vedação, para evitar a penetração de elementos agressivos para o interior do concreto.

3.4 Características das Argamassas de Reparo para Revestimentos

A aderência entre o substrato e a argamassa deriva da conjugação da resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão desta aderência, que corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida (CARASEK, 2001; KAZMIAARCZAK et. al., 2007 citados por KIELING et.al., 2009).

Segundo Wood; King; Leek (1990), a chave para a durabilidade de um reparo estrutural está em se assegurar a contínua transferência de carga e solicitações entre o concreto e o material de reparo, sem a ocorrência de fissuras na interface que causem a perda de aderência e o destacamento da argamassa de reparo.

A movimentação da água entre argamassa-substrato se processa logo que a argamassa é colocada em contato com o substrato poroso, cujos capilares estão inicialmente vazios. As características da argamassa também influenciam no movimento de água entre a base e o revestimento. No caso das argamassas de revestimento, ocorre também um fluxo de água ao meio devido à evaporação. Neste caso, a retenção de água é necessária para evitar a perda de água muito rapidamente, de forma que não comprometa a execução e as reações de hidratação (SILVA, 2004).

As argamassas tradicionais com cimento Portland podem apresentar diversos problemas com relação à sua estabilidade volumétrica, impermeabilidade e retrações, que contribuem com a formação de trincas e fissuras, principalmente quando aplicadas em canais de irrigação que são estruturas expostas às intempéries. Nesse sentido, a incorporação da cinza da casca de arroz nas argamassas de reparo pode melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, e consequentemente sua durabilidade, com redução de custos do produto final.

3.5 A Incorporação das Cinzas da Casca de Arroz em Argamassas de Reparo

Segundo Souza e Ripper (1998) apud Carvalho; Gomes & Simões, (2013), quando os serviços a serem executados numa estrutura, não implicarem na introdução de materiais com a finalidade de aumentar ou de reconstituir a capacidade portante dela, são denominados trabalhos de recuperação ou de reparo da estrutura, em caso contrário, simplesmente reforço.

A função da argamassa de reparo para estruturas de concreto é reconstituir geometricamente os elementos estruturais em processo de recuperação. Para isso são necessários alguns requisitos e propriedades como a trabalhabilidade, aderência ao concreto e armadura originais, baixa retração, resistência mecânica, baixa permeabilidade e absorção de água (ISAIA, 2010). Dentre os principais benefícios da adição da pozolana em argamassas, verificam-se a melhor trabalhabilidade, menor exsudação e permeabilidade, elevação da resistência mecânica a longas idades, maior proteção em meios agressivos e meios expansivos (SILVA; LIBÓRIO; SILVA 1999).

Segundo Fizzo (2001), apud. RIGHI (2015) comparando-se as misturas com a mesma pozolana, cinza volante e cinza de casca de arroz, verificou-se que o aumento na finura, ao mesmo tempo em que aumentou a resistência à compressão axial, reduziu a penetração média de cloretos. Este comportamento ocorreu devido ao aumento na finura das adições minerais

que proporcionaram melhor preenchimento dos espaços capilares grandes, resultando em maior densificação da microestrutura da pasta e impermeabilidade do concreto.

A adição de cinza de casca de arroz, ao concreto, provoca um aumento significativo na resistência à compressão, devido ao refinamento dos poros e dos grãos e pela melhoria na microestrutura da zona de transição (SILVA, 2007).

Em pesquisa com pozolana, concluiu-se que a adição desse material em argamassas tende a incrementar o desempenho mecânico em até 2,75 vezes, em especial na resistência de aderência de argamassas inorgânicas (TAHA, 2001). Pode-se dizer que a adição de pozolanas em materiais cuja matriz é cimentícia provoca um maior adensamento da mistura gerando uma redução natural da porosidade desde a interface (devido ao efeito parede) até a superfície (NEVILLE, 1997). A impermeabilidade e a aderência são características de suma importância para argamassas destinadas a reparo de fissuras ou trincas de canais de irrigação, visto que ao ser adicionado no local a mesma deve apresentar características que assegurem o normal uso do canal. Dal Molin & Schuler (1993) apud. VIEIRA (1997) estudaram a aderência de argamassas com adição de sílica ativa, para reparos estruturais, concluindo que a adição confere uma boa aderência ao substrato, mesmo em baixas idades.

4. METODOLOGIA

4.1 Localização do experimento

O trabalho foi conduzido no Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias, Campus II da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), localizado no município de Areia - PB, em parceria com o Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) e de Química de Biomassa (LQB), ambos pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande, no município de Campina Grande – PB.

O canal de irrigação onde o reparo de fissuras para análise foi realizado é pertencente à Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, setor de fitotecnia, no município de Areia – PB.

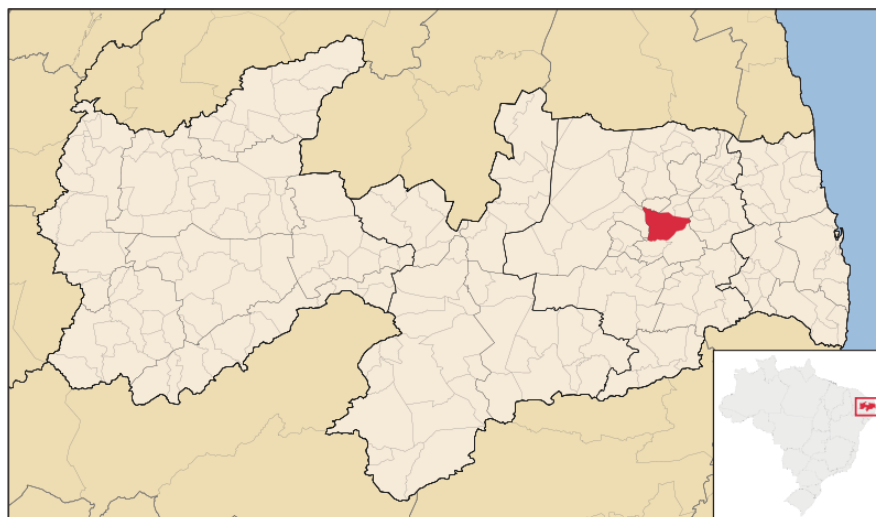


Figura 1. Área de localização do experimento.

4.2 Preparação e caracterização da cinza da casca de arroz vermelho

4.2.1 Obtenção da cinza da casca de arroz vermelho

As cascas de arroz vermelho utilizadas foram fornecidas por uma beneficiadora localizada na cidade de Pedra Branca, pertencente a região conhecida no estado da Paraíba como Vale do Piancó. Para a obtenção das cinzas as cascas foram calcinadas em um forno tipo mufla sob diferentes temperaturas e períodos de aquecimento, no intuito produzir diferentes graus de desarranjo cristalino em sua estrutura mineralógica. Os tratamentos adotados são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1. Tratamentos adotados para a calcinação das cascas de arroz vermelho.

Tratamento	Condições de calcinação	
	Temperatura (°C)	Período (h)
1A	500	2
1B	500	4
1C	500	6
2A	600	2
2B	600	4
2C	600	6
3A	700	2
3B	700	4
3C	700	6

Os ciclos de calcinação foram lentos, com taxa de aquecimento de cerca de 5 °C/min, e ao atingir a temperatura desejada o material permanecia sob aquecimento até o final do período de tratamento. Após o período da queima o equipamento foi desligado para o resfriamento das amostras por 24h.

4.2.2 Caracterização da cinza da casca de arroz vermelho

A análise do comportamento térmico da casca do arroz vermelho foi realizada através da obtenção das curvas termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA). Nessas curvas é possível observar o comportamento térmico com base na decomposição da amostra, como a perda de massa em diferentes faixas de temperaturas (TGA) e nos picos endotérmicos e exotérmicos ao longo do perfil de calcinação (DTA). O ensaio foi realizado no equipamento SHIMADZU, modelo DTG – 60H, com uma razão de aquecimento de 12,5°C.min⁻¹, entre as temperaturas ambiente e 1000°C, em atmosfera de nitrogênio e vazão de 100 mL min⁻¹. A amostra com 5.078g foi acondicionada em cadinho de alumina.

O rendimento médio das cinzas em cada tratamento adotado foi determinado pela diferença percentual entre a quantidade de cascas a calcinar e as cinzas residuais obtidas após a calcinação, com amostras em triplicata, utilizando-se uma balança semi-analítica.

Nos ensaios de caracterização mineralógica e resistência mecânica as cinzas foram moídas até que passassem pela malha peneira de nº 200 (75µm), com granulometria semelhante ao do cimento Portland.

Para a determinação da influência dos tratamentos no arranjo mineralógico das cinzas foram realizadas as difratometrias de raios-x utilizando-se um equipamento da marca SHIMADZU, modelo XRD-6000, com radiação de CuKα, entre ângulos de $10^{\circ} \leq 2\theta \leq 60^{\circ}$, com velocidade de varredura de 2°.min⁻¹, sob tensão de 40kv e corrente de 30mA.

O índice de desempenho pozolânico das cinzas foi avaliado com base nas recomendações da NBR 5752, em que, corpos-de-prova de argamassas, com e sem substituição do cimento Portland, são ensaiadas aos 28 dias após a moldagem. Segundo a NBR 12653, para ser considerado um material pozolânico é necessário que o índice de atividade pozolânica do resíduo apresente resistência à compressão maior ou igual a 75 %, com relação àqueles preparados apenas com o cimento Portland do tipo CP II – F32. O índice de atividade pozolânica foi aplicado aos tratamentos com melhores resultados para as

difratometrias de raios-x. Os valores de resistência à compressão podem ser obtidos a partir da Equação 1:

$$(1) I_{(\text{cimento})} = (f_{\text{cB}}/f_{\text{cA}}) \times 100$$

Onde: I é o índice de desempenho aos 28 dias (%);

f_{cB} é a resistência média da argamassa com a mistura cimento Portland e cinzas (MPa);

f_{cA} é a resistência média da argamassa com cimento Portland (Mpa)

4.2.3 Preparação e caracterização das argamassas

Foram preparadas duas formulações de argamassas, com traço 1:3. A argamassa testemunha foi elaborada tradicionalmente com cimento Portland e areia passante na peneira nº 14, com malha 1,4mm, correspondente às frações menores da areia média (1,2 a 2,4mm). A argamassa tratamento foi preparada similarmente à testemunha, substituindo-se em 10%, em peso, o cimento Portland por cinza de casca de arroz vermelho (CCA). O fator água cimento adotado foi de 0.55, nas formulações a serem adicionadas ao canal foi elevado o fator água cimento até que se atingisse o ponto de umidade ideal.

Na elaboração das argamassas foram utilizados como aglomerantes o cimento Portland do tipo CP II F – 32, por apresentar menor interferência na pozolanicidade das cinzas, e a CCA do melhor resultado obtido na análise de índice de desempenho pozolânico. A água utilizada foi fornecida pela empresa de abastecimento local.

As argamassas foram ensaiadas para a determinação da resistência à compressão simples (NBR 5739), a resistência à compressão diametral (NBR 7222), para isso, foram moldados em corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, e submetidos a cura por imersão durante 28 dias (Figura 1). Após o período de cura, os corpos-de prova foram rompidos em uma prensa hidráulica marca CONTENCO, modelo Pavitest, com capacidade de 0 a 24000kgf (Figura 2).



Figura 2. Corpos-de-prova para ensaios de resistência mecânica.



Figura 3. Prensa hidráulica utilizada nos ensaios de resistência mecânica.

4.2.4 Aplicação das argamassas no reparo de fissuras em canal de irrigação

As argamassas foram aplicadas no reparo de fissuras em um canal de concreto existente no Centro de Ciências Agrárias, para isso, foram selecionadas duas direções de propagação, vertical e horizontal à parede do canal. As fissuras apresentavam aberturas médias de 15,2 mm no sentido vertical e 10,2 mm no horizontal. A análise consistiu-se basicamente da observação e registro de imagens fotográficas do comportamento das argamassas quanto a retração e a formação de microfissuras, com registros no 1, 7 e 14° dias.

Ao 14° dia foram lixadas para obtenção de uma melhor superfície de acabamento bem como visualização de sua aderência as fissuras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da cinza da casca de arroz vermelho

A análise termogravimétrica mostrou o comportamento quanto à perda de massa da casca de arroz vermelho quando calcinada, que pode ser observado na Figura 4.

Pelas imagens, termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA) podem ser observadas quatro etapas na degradação da casca. A primeira etapa apresentou uma perda de massa de 7,8%, entre 24 e 92°C, que pode ser atribuída à evaporação da água da amostra e, segundo Marconcini e Oliveira (2007), essa perda também pode ser equivalente à saída de compostos voláteis. Entre 299 e 360°C a calcinação gerou perdas da ordem de 43,9% da massa da amostra, que podem estar relacionadas à degradação parcial dos compostos orgânicos presentes na casca, como celulosas e ligninas. Na terceira etapa, entre 490 e 493, foi observada uma alteração no comportamento da curva, com perda de massa de 14,3%; e esse comportamento pode estar relacionado à mudança de fase do material, devido à combustão do carbono (Pouey, 2006). Na última etapa analisada, entre 521 e 678°C, houve perda de massa de 19,1%.

Segundo Gouveia et al (2002), após a decomposição das cascas do arroz comum e do parabolizado, em temperaturas acima de 523 e 535°C respectivamente, resta um resíduo de 16,0 %, que, segundo a literatura, corresponde em 99% a sílica.

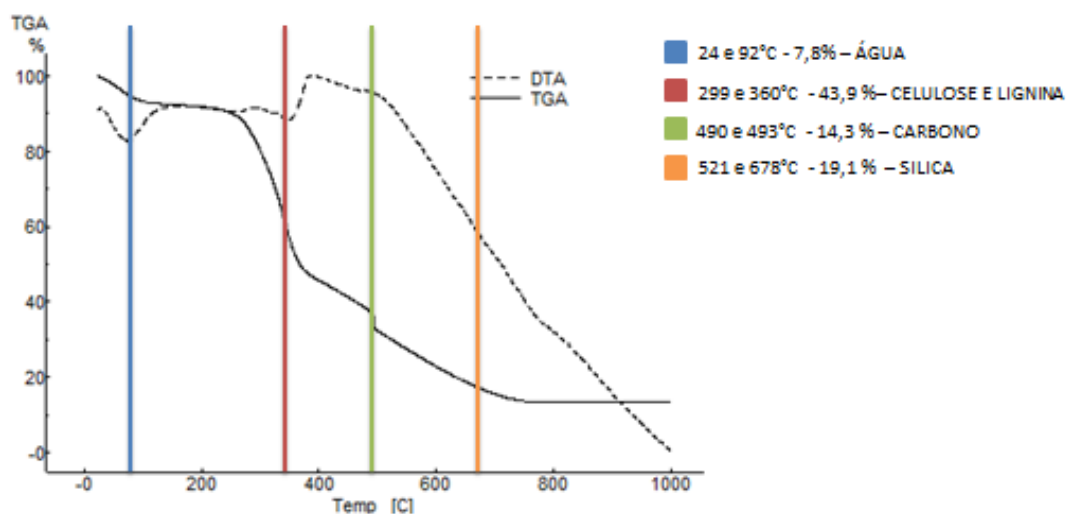


Figura 4. Curvas termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA) da casca de arroz vermelho.

Na Figura 5 estão as imagens das amostras de cinzas obtidas para os diferentes tratamentos analisados. É possível observar as diferentes colorações obtidas durante o processo de calcinação da casca do arroz vermelho, sendo que este parâmetro pode ser utilizado para o diagnóstico da quantidade de carbono presente nas amostras. Segundo Houston (1972) citado por Della et. al. (2002), as cinzas de coloração preta possuem alto conteúdo de carbono, enquanto que as de coloração acinzentada possuem baixo conteúdo de carbono.

A diversidade de tonalidades que as cinzas apresentaram foram em decorrência dos tempos e temperaturas de queima. Numa escala de tonalidades para a cor cinza foram obtidas amostras desde o grafite até o cinza claro, e ainda, podemos afirmar que dentre as variáveis avaliadas, o aumento do tempo apresentou-se mais expressivo, quanto às variações de tonalidade, entre os períodos de calcinação na temperatura de 500°C. Em contrapartida, as tonalidades das amostras obtidas sob o mesmo tempo de calcinação entre as temperaturas de 600 e 700°C apresentaram diferenças, o que representa uma significativa redução do conteúdo de carbono presente nas cinzas a medida que a temperatura é elevada.

Ao analisar a viabilidade de obtenção sílica de alta pureza a partir de cinza de casca de arroz, Della et. al. (2001), observou que as amostras desenvolveram modificações progressivas na coloração influenciada pelas diferentes temperaturas e tempos de queima, e que a coloração cinzenta é fortemente dependente da temperatura. E ainda, cinzas de coloração preta são obtidas a baixas temperaturas, cerca de 400°C, provavelmente por não haver tempo de queima suficiente para redução do carbono, e que quando calcinadas a 700°C é produzida sílica com coloração cinza claro.

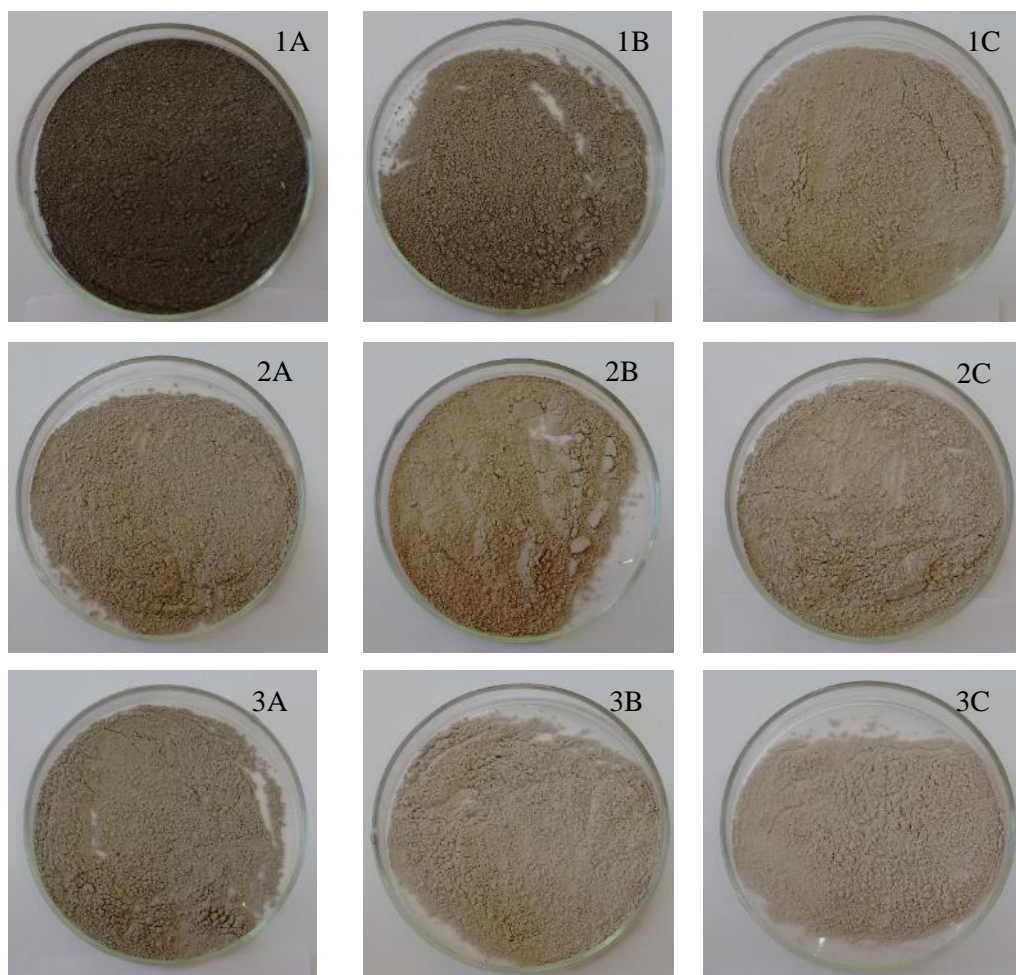


Figura 5. Coloração das cinzas de casca de arroz vermelho obtidas para os tratamentos propostos, sendo: temperaturas 1 à 500°C, 2 à 600°C e 3 à 700°C, e tempos de queima A por 2h, B por 4h e C por 6h.

Na Tabela 1 são mostrados dos rendimentos de cinzas para os períodos e temperaturas de calcinação da casca de arroz vermelho. Observa-se que para os tratamentos propostos o rendimento foi de cerca de 20%, e esse resultado evidencia que não houve muita diferença entre as perdas dos compostos presentes entre os níveis dos fatores estudados. Ao calcinar as cascas de arroz convencional, a partir de 800°C, Gouveia et al. (2002), observaram que o rendimento das cinzas foi de aproximadamente 17,5%.

As características de amorfismo observadas através das difratometrias de raios-X podem ser utilizadas como parâmetro para mensurar o quantitativo de elementos reativos, presente nas cinzas. Com essa determinação foi possível avaliar o quanto as diferenças de temperatura e período de calcinação puderam influenciar nas características mineralógicas do material.

Tabela 1. Rendimento das cinzas da casca de arroz vermelho.

Calcinação		Rendimento (%)
Temperatura (°C)	Tempo (h)	
500	2	22,1
500	4	20,1
500	6	20,8
600	2	20,3
600	4	19,8
600	6	20,3
700	2	20,3
700	4	19,9
700	6	19,8

Na Figura 6 são apresentados os espectros das difratometrias para as cinzas de todos os tratamentos realizados. Observa-se que os espectros obtidos apresentaram características predominantes de amorfismo, dada a largura e intensidade do pico registrado entre 15 e 35° (2 θ). As cinzas obtidas da calcinação a 500°C por 2h e 4h (1A e 1B) apresentaram espectros com características semelhantes, com picos evidenciando a presença de quartzo nas amostras. Picos e interferências de baixa intensidade foram observados nas calcinações a 600 e 700°C (tratamentos 2 e 3) e podem estar relacionados à formação de cristobalitas e feldspatos. No geral, os tratamentos apresentaram espectros similares, variando apenas na maior intensidade dos picos relativo à presença de quartzo (27° 2 θ).

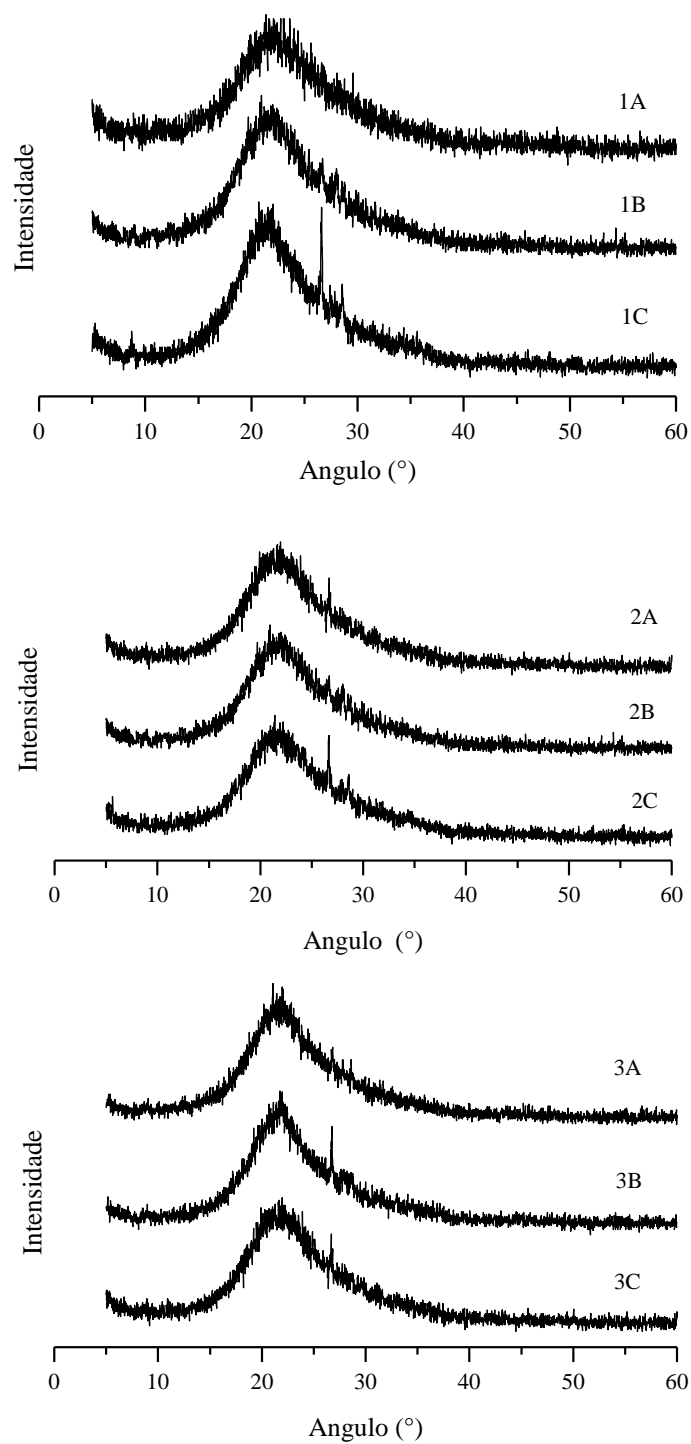


Figura 6. Difratometrias das cinzas da casca do arroz vermelho, sendo as temperaturas 1 à 500°C, 2 à 600°C e 3 à 700°C e os períodos de calcinação A por 2h, B por 4h e C por 6h.

Ao analisar o potencial pozolânico das cinzas da casca de arroz, Cordeiro et. al. (2014), observaram que as pozolanas produzidas entre 500 e 1100°C continham materiais cristalinos e traços de quartzo em todas as amostras. E ainda, quanto ao indicativo de compostos amorfos, verificou-se que o largo pico entre 15° e 36° (2 θ) no espectro das cinzas produzidas a 500°C foi diminuindo à medida que a temperatura aumentou, demonstrando o rearranjo dos compostos cristalinos. A partir do espectro das cinzas produzidas a 800°C verificou-se claramente a transformação das fases, observando-se a redução do halo amorfo e a formação do pico de cristobalita, que se tornou mais definido à medida que a temperatura aumentou.

Cordeiro et. al. (2014), também relataram que a quantidade de sílica reativa diminuiu, à medida em que se aumentou a temperatura de queima; mesmo assim, houve a presença sílica amorfa, em altas temperaturas, suficiente para garantir a reação pozolânica.

Observou-se que as cinzas calcinadas a 600°C por 4h (2B) e 700°C por 2h (3A) apresentaram espectros sem muitas interferências, característico de cinzas reativas e sem presença de minerais cristalizados. Dessa forma, esses tratamentos foram utilizados na determinação do desempenho de materiais pozolânicos.

As resistências à compressão das argamassas com e sem cinzas, produzidas segundo a NBR 5752, estão esboçadas na Figura 7. Dentre as argamassas avaliadas, apenas aquela com cinzas calcinadas a 600°C por 4h (2B) apresentou índice de desempenho característico ao material pozolânico, quando em substituição ao cimento Portland. E ainda, que o índice de desempenho observado no tratamento CP+2B apresentou 84% do que foi obtido para a argamassa testemunha (CP).

Ao analisar a atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado, Marangon et al, 2013, observaram que a resistência à compressão das argamassas de referência foi superior a classe de resistência do cimento Portland utilizado, e que quando realizado os ensaios de IAP com a substituição parcial do cimento pela sílica de casca de arroz, não houve variação na resistência à compressão das amostras, o que demonstra a alta capacidade de atividade pozolânica da sílica da casca de arroz.

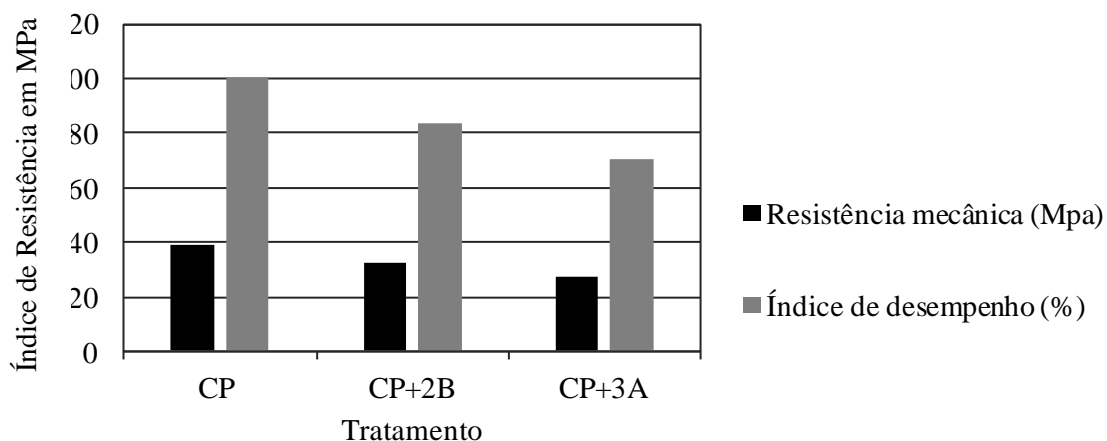


Figura 7. Desempenho mecânico dos corpos-de-prova com misturas de cimento Portland (CP) cinzas de casca de arroz vermelho (2B - calcinadas a 600°C por 4h e 3A - calcinadas a 700°C por 2h).

5.2 Caracterização das argamassas

Quando elaboradas as argamassas, observou-se que a testemunha apresentou uma consistência mais plástica, visualmente com mais excessos de água, que a argamassa com substituição de cimento Portland por 10% de CCA (Figura 8). Esse efeito foi ocasionado devido à quantidade de micropartículas adicionadas a massa quando da incorporação das cinzas, que apresentam uma granulometria menor que a do cimento Portland, e ainda por terem superfície mais porosa. Ao observar através da microscopia eletrônica de varredura Duarte (2008), constatou que a estrutura porosa da CCA é comparada a uma esponja com paredes internas apresentando pequenas cavidades, tal característica é importante, pois é responsável pela absorção da água de amassamento, implicando em maior porosidade. As argamassas utilizadas estão representadas na Figura 8.

A argamassa adicionada de CCA apresentou coloração mais escura em relação à argamassa testemunha, tal característica pode ser observada também nos corpos de prova cilíndricos com 10% de substituição após a cura de 28 dias, representados na Figura 9.

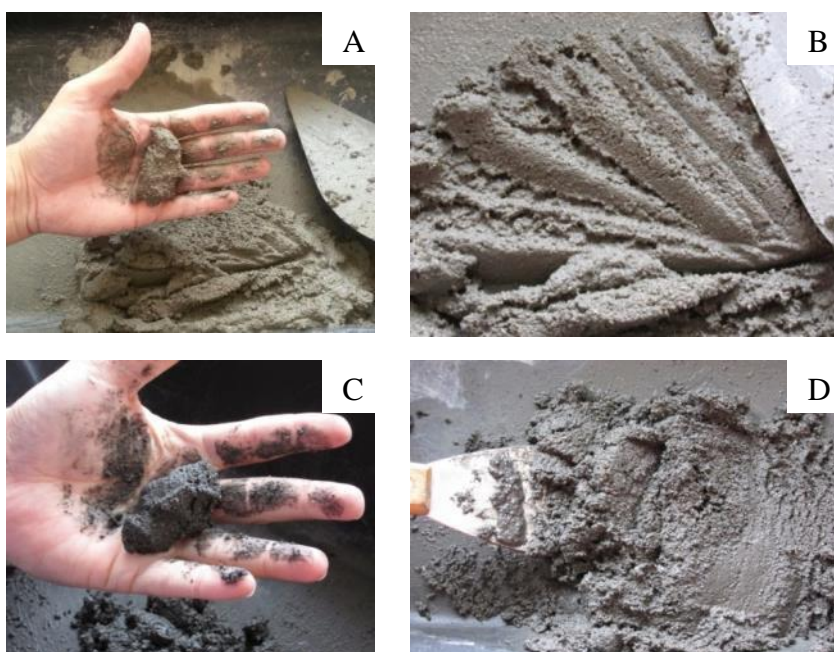


Figura 8. Argamassa testemunha A – B e com mistura de cimento Portland (CPII – F32) e cinzas de casca de arroz vermelho (2B - calcinadas a 600°C por 4h) C – D.

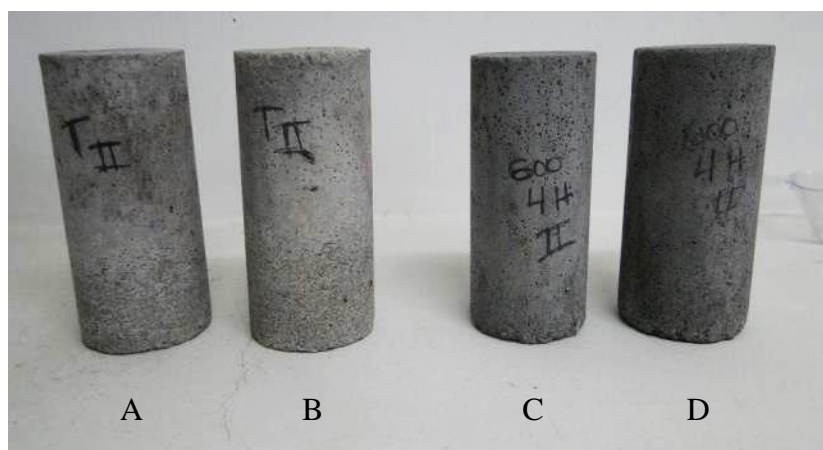


Figura 9. Corpos de prova cilíndricos, testemunha A – B e com mistura de cimento Portland (CPII – F32) e cinzas de casca de arroz vermelho (2B - calcinadas a 600°C por 4h) C – D.

Para os ensaios de resistência a compressão axial e diametral foram utilizados corpos de prova cilíndricos, com 5cm de diâmetro e 10 cm de altura, sem adição de CCAV e com 10% de substituição de cimento Portland CPII – F32 por CCA, foram escolhidos aleatoriamente após 28 dias de cura, três corpos de prova para o rompimento. O resultado é dado em MPa na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de compressão axial e diametral dos corpos de prova cilíndricos sem adição de CCA e com substituição de 10% de Cimento Portland CPII – F32.

Tratamento	Resistência à compressão (MPa)	
	Axial	Diametral
Argamassa testemunha	14,9	-
Argamassa com 10% de CCA	19,9	8,3

A argamassa adicionada de CCA apresentou resistência à compressão axial superior a argamassa testemunha, esse fato pode ser explicado pelo preenchimento dos poros devido à finura da cinza da casca de arroz após moagem o que colabora para o incremento da resistência a compressão.

Segundo Feng et al. (2003) a CCA obtida através de queima controlada e adequadamente moída possui alta atividade pozolânica e proporciona um aumento da resistência à compressão de concretos com substituição de cimento por CCA.

Uma forma indireta de se determinar a tração é o ensaio de compressão axial, sabe-se que o valor representativo da tração ficaria em torno de 10% da resistência a compressão. No ensaio de compressão diametral é possível se obter mais referência a respeito da tração quando para argamassas que estão sujeitas a este efeito, como aquelas utilizadas em revestimentos.

Segundo Mehta & Monteiro (2014), o concreto quando submetido a esforços de tração apresenta uma resistência bem inferior à resistência a compressão, cuja relação é geralmente em torno de 7% e 11%. Essa baixa resistência pode estar associada à sua grande dificuldade de interromper a propagação das fissuras quando é submetido às tensões de tração.

Os corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão, em sua maioria fraturaram-se, segundo NBR 5739, de forma cônica e bipartida. Como pode ser observado na Figura 10.



Figura 10. Corpos de prova cilíndricos com substituição de 10% de CCAV após rompimento.

Rêgo (2002) apud., RIGHI, (2015), em um estudo com CCA residual, avaliando a resistência a compressão do concreto, nos teores de 0, 5, 10, 20% em substituição ao cimento, os resultados mostraram um aumento dos valores de resistência à compressão para todos os

teores de substituição, em comparação ao concreto de referência, chegando a apresentar valores até aproximadamente 20% para o caso de 10% de substituição, aos 63 dias.

Frizzo (2001), verificou que misturas com cinza de casca de arroz apresentaram aumento da resistência à compressão axial.

Para Tiboni (2007), o aumento na resistência a compressão simples de argamassas pode estar relacionado a uma melhoria na zona de transição, pois as utilizações de sílicas ativas diminuem da quantidade de cristais decorrentes do cálcio, dos espaços vazios e do aumento da adesividade pasta-agregado.

5.3 Comportamento das argamassas no reparo de fissuras em canal de irrigação

As argamassas foram aplicadas em duas fissuras no canal de irrigação, uma no sentido vertical outra no sentido horizontal, e foram analisadas aos 1º, 7º e 14º dias através de imagens fotográficas. Segundo Eldridge (1982), as fissuras apresentam-se sob as seguintes configurações: vertical; horizontal; denteada e diagonal ou em degraus.

No 1º dia foi possível observar que, no sentido vertical, ambas as argamassas promoveram o preenchimento da fissura e a argamassa testemunha (apenas cimento Portland) apresentou-se mais áspera em relação argamassa adicionada de CCA (Figura 11).

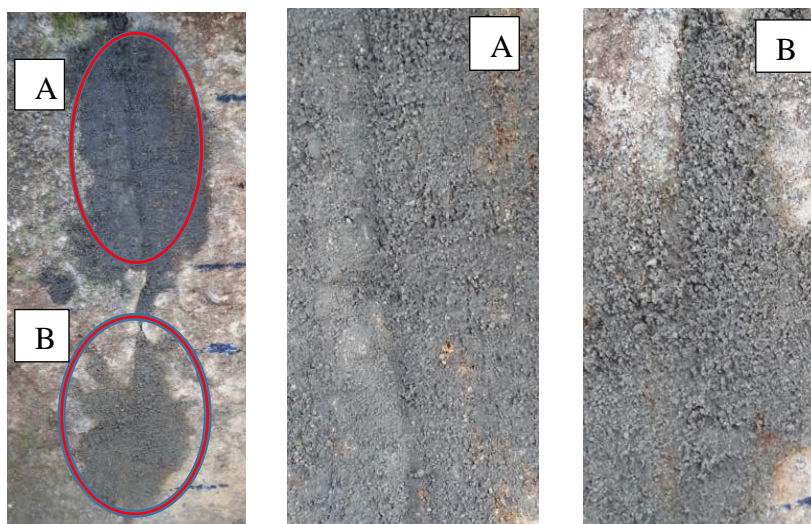


Figura 11. Argamassas no sentido vertical, 1º dia. A – Argamassa adicionada de CCAV, B – Argamassa testemunha.

Quando aplicada no sentido horizontal no 1º dia, observou-se que ambas as argamassas promoveram o preenchimento da fissura, igualmente ao sentido vertical, e a argamassa testemunha apresentou-se mais áspera. Figura 12.

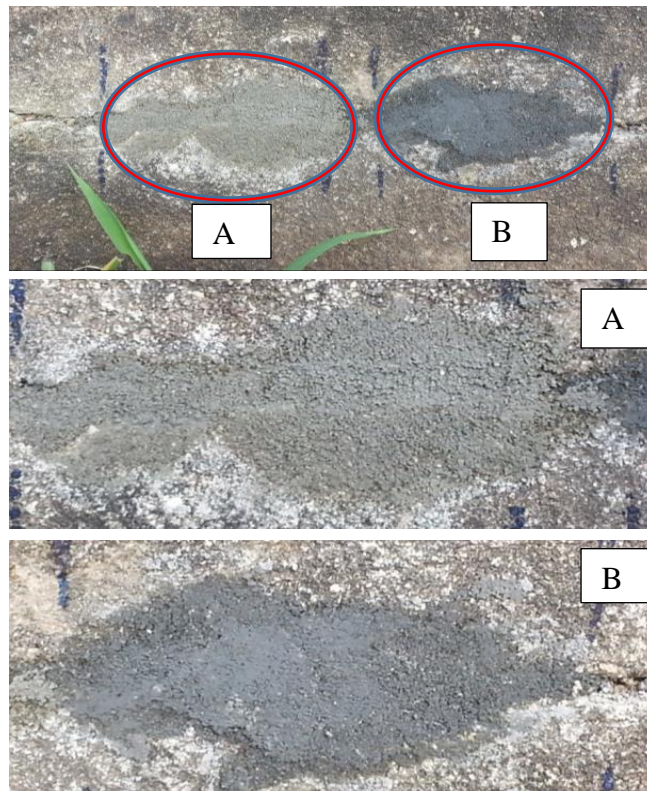


Figura 12. Argamassas no sentido horizontal, 1º dia. A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCAV.

As argamassas apresentaram comportamentos diferenciados quando aplicadas em sentidos horizontal e vertical. Aos 7 dias de ensaio observou-se que as argamassas que estavam na vertical (Figura 13) não apresentaram visualmente qualquer modificação física. Porém, quando aplicadas no sentido horizontal (Figura 14) apresentaram desprendimento da parede, evidenciado por microfissuras ao longo do perfil da fissuração no canal, o que pode ter ocorrido devido a uma baixa aderência da argamassa à base, o que resulta em baixa estabilidade em relação aos esforços de tração, ocasionada pela movimentação devido à retração na argamassa.

Uma observação importante, de acordo com Fiorito (2003), é que o endurecimento de uma argamassa será acompanhado por uma redução em seu volume em função da perda de água pela evaporação, que é ocasionada pelas reações de hidratação do cimento. E ainda, que a retração é o fenômeno em que percebemos as variações dimensionais da massa, mesmo depois do endurecimento, em virtude da umidade do ambiente. Nesse sentido, cabe ressaltar que as argamassas acopladas no sentido vertical estavam num local sombreado do canal, o que pode também, ter contribuído com redução dos efeitos da retração.

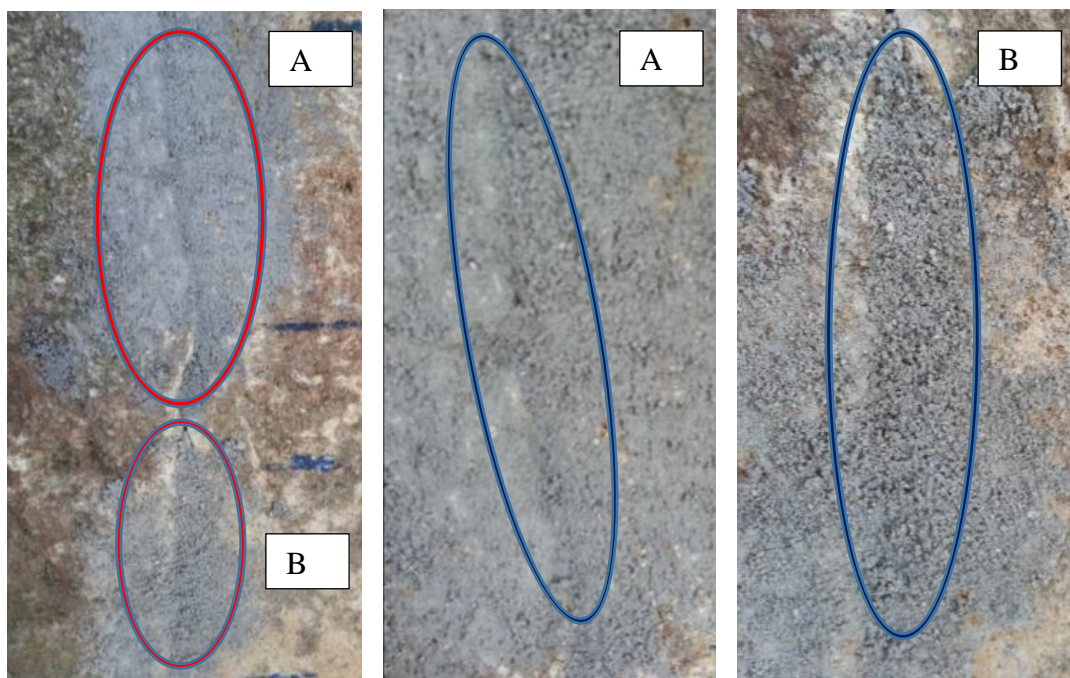


Figura 13. Argamassas no sentido vertical, 7º dia, A – Argamassa adicionada de CCAV., B – Argamassa testemunha

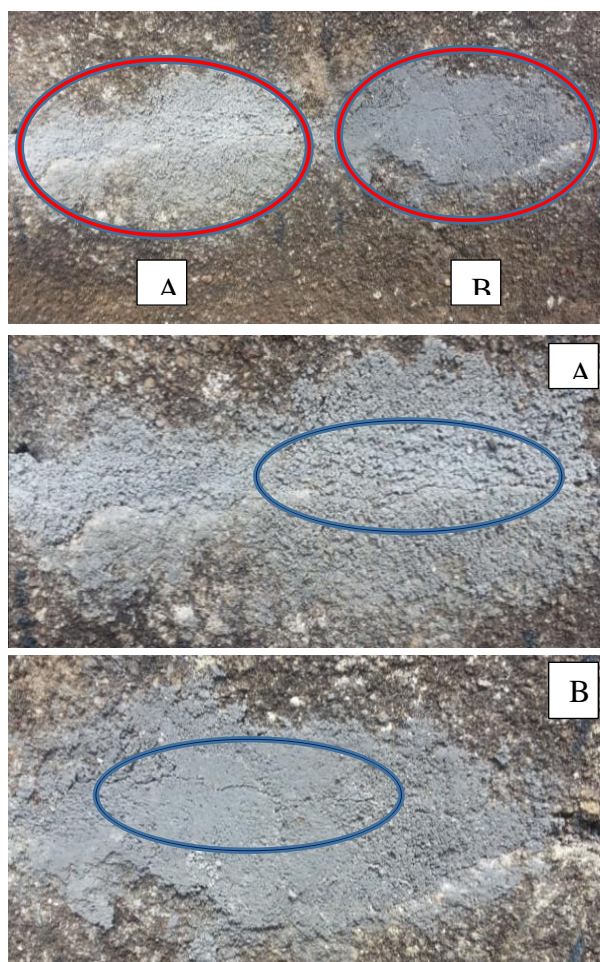


Figura 14. Microfissuras nas argamassas sentido horizontal, 7º dia, A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCAV.

No 14º dia de aderência as argamassas foram lixadas com lixa nº 350, no intuito de se observar a capacidade de propagação das microfissuras, e ainda, obter evidências a respeito da porosidade das argamassas ensaiadas. Ao serem lixadas, as partes mais ásperas foram removidas e pode-se observar que a argamassa adicionada de CCA mostrou-se mais compactada e menos porosa que a argamassa testemunha como exposto nas Figuras 15 e 16, sentidos vertical e horizontal respectivamente.

Quanto à microfissuração, as argamassas não apresentaram propagação interna, porém, quando analisada a acoplagem, ligação da argamassa à fissura do canal, a argamassa com CCA mostrou-se mais estável, sem muitas evidências do desprendimento na interface e menor variação volumétrica que a argamassa testemunha.

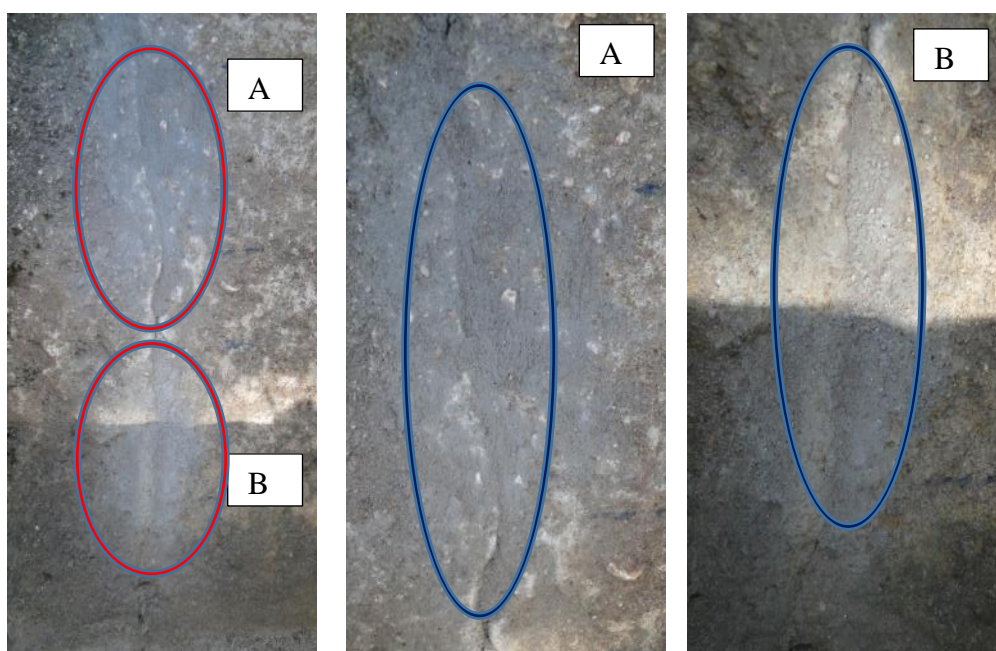


Figura 15. Argamassas no sentido vertical microfissuradas, 14º dia após serem lixadas. A – Argamassa adicionada de CCAV, B – Argamassa testemunha.

De acordo com Bezerra (2010), a retração se inicia no estado fresco e se prolonga após o endurecimento do material. Quando a secagem é lenta a argamassa tem tempo suficiente para adquirir resistência a tração necessária para suportar as tensões internas que ocorrem. Mas, características climáticas como a baixa umidade do ar, altas temperaturas, intensa radiação solar e excessos de ventos, podem acelerar a perda de água e o surgimento de fissuras. Quanto à secagem lenta, podemos também afirmar que as adições das CCA's contribuem consideravelmente, pois, elas diminuem o calor no processo de hidratação pelo consumo do hidróxido de cálcio.

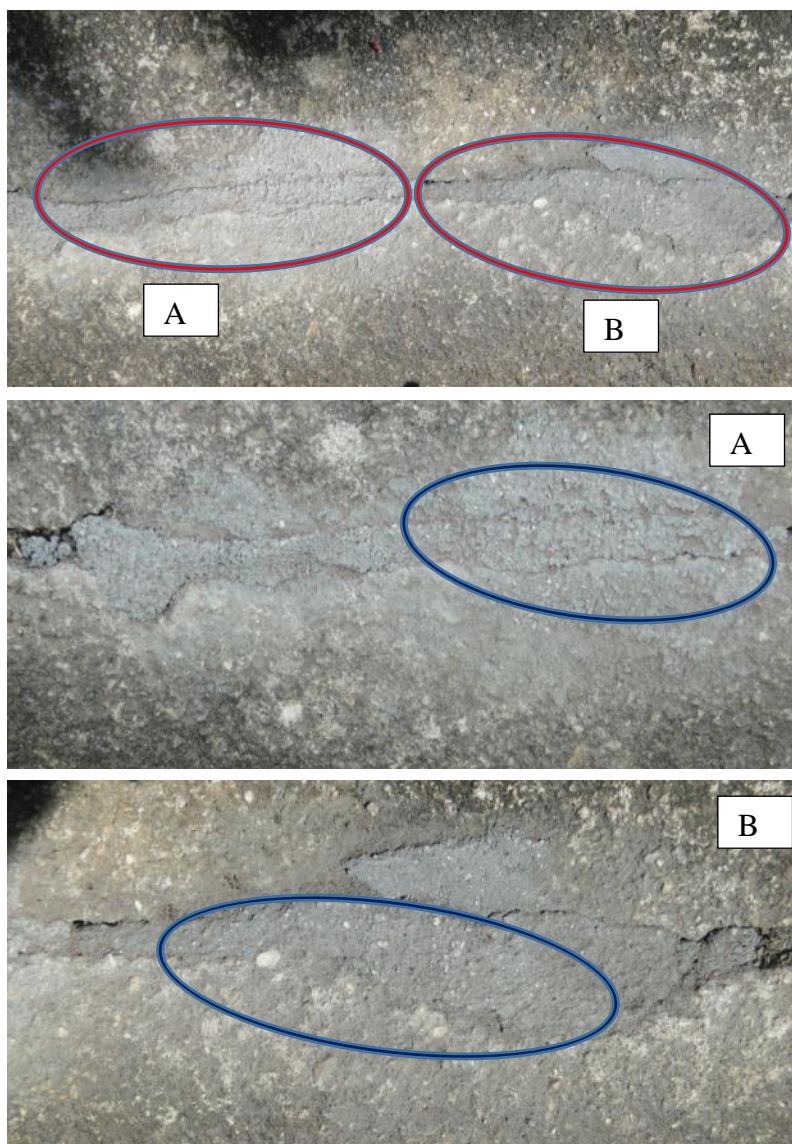


Figura 16. Argamassas no sentido horizontal microfissuradas, 14º dia após serem lixadas. A – Argamassa testemunha, B – Argamassa adicionada de CCAV.

Segundo Fonseca (2010- apud COUTINHO, (1997), as adições minerais modificam o equilíbrio químico no interior do cimento, pois promovem a fixação do hidróxido de cálcio dando origem a componentes menos ricos em cálcio do que os provenientes da hidratação do cimento Portland, com propriedades ligantes tão importantes quanto às daqueles. Com isso, a concentração de hidróxido de cálcio é reduzida a limites capazes de inibir as reações expansivas entre sulfatos e aluminatos, o calor de hidratação é diminuído e o cimento apresenta resistências químicas e mecânicas em geral superiores às do cimento Portland

As adições minerais de atividade moderada, como as pozolanas naturais e as cinzas volantes com baixo teor de cálcio, não apresentam interações químicas significativas com os

produtos de hidratação do cimento durante os primeiros sete dias do processo de hidratação. Após este tempo é que as reações pozolânicas e cimentícias destes materiais geralmente se iniciam. As fissuras de origem térmica em idades iniciais causadas pelo rápido esfriamento do concreto quente podem, portanto, ser controladas através da substituição parcial de cimento por uma pozolana com estas características (FONSECA, 2010).

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados é possível concluir que a queima controlada a temperatura de 600° C por de 4 horas apresentou as melhores características de pozolanidade entre as cinzas estudadas.

A argamassa com a incorporação de cinza da casca de arroz vermelho apresentou desempenho superior quanto à resistência mecânica.

Quando aplicada no reparo de fissuras na parede de um canal de irrigação a argamassa com adição de cinzas apresentou menor tendência à formação de microfissuras e poros, maior aderência e melhor superfície de acabamento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752** – Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com o cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7222** - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014.

ALCANTARA, M. A. M.; SANTOS, L. P.; LIMA, D. C.; SEGANTINI, A. A. S; AKASAKI, J. L. **O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2011.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. 108p. Dissertação de mestrado. UFCG, Campina Grande, 2010.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.6, p. 639–645, 2011.

CARASEK, H. 2001. **Importância dos materiais da aderência dos revestimentos de argamssa**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Brasília, 2001. *Anais...* Brasília, p. 43-67.

CARVALHO, Gabriel Augusto; GOMES, Murilo; SIMÕES, Victor Augusto Villardo. **Efeito da adição de sílica ativa, nanotubos de carbono e nanossílica na retração de argamassas**

de reparo de cimento portland. 2013. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CORDEIRO, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. R. **Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto.** Ambiente Construído, v.9, p.99-107, 2009b.

CORSINI, Rodnei. **Trinca ou fissura ? : Como se originam, quais os tipos, as causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação de fissuras.** 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-se-originam-quais-os-tipos-285488-1.aspx>>. Acesso em: 05 out. 2016.

CORTEZ, L. A. B., LORA, E. E., & AYARZA, J. A.. **Biomassa no Brasil e no Mundo.** IN: CORTEZ, L. A. B., LORA, E. E., & AYARZA, J. A. (Orgs.). **Biomassa para Energia.** p.15-30, 2008.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos.** Ministério dos Transportes. 2010.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. **Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica.** Revista Química Nova, v.24, n. 5, p. 778-782, 2001.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 2, p. 22-25, 2005.

DUARTE, Marcelo Adriano. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento.** 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rs, 2008.

ELDRIDGE, H. J. **Construcción, defectos comunes.** Barcelona: Gustavo Gili, 1982.

FENG, Qingge et al. **Efficiency of highly active rice husk ash on the hig-strength concrete.** In: International Congresso on the Chemistry of Cement (ICCC), 11, 2003, Durban, África do Sul. The Cement and Concrete Instituite of South Africa, 2003.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos.** 1ª Ed. São Paulo, PINI, 2003.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M. de; MORAIS, O. P. de; SOARES, A. A.; PEREIRA, J. A.; LOBO, V. L. da S.; RESENDE, J. M. **Descrição morfológica, agronômica, fenológica e culinária de alguns tipos especiais de arroz (*Oryza sativa* L.).** Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2007. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 210).

FONSECA, G. C da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no brasil: uma abordagem epistêmica.** 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.

FOLETTTO, Edson Luiz et al. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz.** Quimica Nova, São Paulo, Sp, v. 28, n. 6, p.1055-1060, dez. 2005.

FRIZZO, B. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade de axigênio e na absorção capilar do concreto.** 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2001.

GOUVEIA D. S.; AMORIM J. A.; ELIZIÁRIO S. A.; ROSENHAIM R.; DANTAS R. F.; TRINDADE M. F. S.; SANTOS I. M. G; SOUZA A. G. **Caracterização da casca de arroz beneficiada.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. Anais... Natal, 2002.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MEIRA, L.; DUART, M.; ZERBINO, R. **Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura.** Ambiente Construído, v.10, p.121-137, 2010

KAZMIERCZAK, C.S.; BREZEZINSKI, D.E.; COLLATTO, D. 2007. **Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa.** *Estudos tecnológicos*, 3(1): 47-58.

LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto Casado. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação.** 1997. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LUNA, Hugo de Andrade. **Manutenção em canais de irrigação revestidos em concreto.** 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco - Ufpe, Recife, Pe, 2013.

MARANGON, E.; MARTON, L. F. M.; SOARES, E. L.; MENDES, G. G.; MARTINS, R. P.; SILVA, D. M. G. **Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado.** In: 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais... Gramado, 2013.

MARCONCINI, J.; OLIVEIRA, R. M. **Termogravimetria de Cascas de Arroz.** São Carlos, EMBRAPA/CNPDI, 2007. (EMBRAPA/CNPDI. Comunicado Técnico, 89).

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. **Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria.** In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., Florianópolis, 1994. Proceedings. Florianópolis, UFSC/University of Edinburgh/ANTAC, 1994. p.594-607.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. PINI. São Paulo, 1997.

PAULA, M. O.; TINÔCO, I. de F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.353-357, 2009.

PEREIRA, J. A. **O arroz-vermelho cultivado no Brasil**, Teresina; Embrapa Meio-Norte, 2004.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 320p. Tese do doutorado. UFRGS, Porto Alegre, 2006.

RIGHI, D.P. **Caracterização do Comportamento de Compostos Cimentícios de Elevada Capacidade de Deformação com a Utilização de Fibras de Polipropileno e Cinza de Casca de Arroz**. 2015 Dissertação, Engenharia Civil – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RODRIGUES, M. S. **Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa**. 128p. Dissertação de mestrado. UNICAMP, Campinas, 2008.

SANTOS, Sílvia. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Florianópolis, 2006, 267f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

SENSALE, G. R.; DAL MOLIN, D. C. C. **Estudo Comparativo entre as Propriedades Mecânicas e Durabilidade de Concretos de Alta Resistência e Convencionais com Cinza de Casca de Arroz**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2001. CD. ROM.

SILVA, I.O. **Influencia da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2007.

SILVA, V.S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais – Melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica de casca de arroz.** São Carlos, SP. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, 247 p. 2004.

SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. & SILVA, C. R. **Argamassas de revestimento com o emprego de pozolanas de argila calcinada.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.

SILVEIRA, A. A. **A utilização de cinza de casca de arroz com vistas à durabilidade de concreto: estudo do ataque por sulfatos.** 139p. Dissertação de mestrado. UFRGS, Porto Alegre, 1996.

TAHA, M. M. R.; SHRIVE, N. G. **The use of pozollans to improve bond and bond strength.** 9th Canadian masonry symposium. Canadá, 2001.

TIBONI, Rafaelle. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoeletrica como componente do aglomerante de compostos a base de cimento Portland.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2007.

VIEIRA, Fernanda P. et al. Durabilidade e resistência mecânica de concretos e argamassas com adição de sílica ativa. In: **Workshop–Durabilidade das construções.** 1997. p. 107-116.

WEBER, L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz.** 2001. 116f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

WOOD, J.G.M.; KING, E.S.; LEEK, D.S. **Concrete repair materials for effective structural applications.** Construction and Building Materials, v.4, n.2, p.64-67, jun. 1990.

ZUCCO, L. L. Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas. 417p. Tese do doutorado. UNICAMP, Campinas, 2007.

ZUCCO, L. L.; BERALDO, A. L. Efeito da adição de cinza da casca de arroz em misturas cimento-casca de arroz. Revista Engenharia Agrícola, v.28, n.2, p.217-226, 2008.